

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 8月 3日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-235319

出 願 人

Applicant(s):

株式会社ニコン

2001年 4月20日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造

出証番号 出証特2001-3033548

【書類名】 特許願

【整理番号】 00-00781

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン
 内

 【氏名】 木田 佳己

【特許出願人】

 【識別番号】 000004112

 【氏名又は名称】 株式会社ニコン

【代理人】

 【識別番号】 100102901

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 立石 篤司

 【電話番号】 042-739-6625

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 053132

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 露光装置及びデバイス製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 マスクと基板とをほぼ静止した状態で、前記マスクを介してエネルギービームにより前記基板を露光する露光装置であって、

スキャン露光装置における前記基板上の一つの区画領域を、前記マスクから射出された前記エネルギービームを前記基板に投射して一括して露光可能な大きさのイメージフィールドを有する投影光学系を備えた露光システムと；

前記露光システムを全体的に制御するとともに、前記露光システムのスループットに関連する制御ファクタを、露光対象のパターンの最小線幅に応じて変更する制御システムと；を備える露光装置。

【請求項 2】 前記変更対象となる制御ファクタは、前記基板を保持する基板ステージの位置決め精度に関連する物理量の許容値、前記基板ステージの位置決め完了判断までの時間、前記投影光学系の光軸方向に関する前記基板表面の目標面からの誤差の許容値、前記エネルギービームの照射に起因する前記投影光学系に蓄えられる熱量の許容値、前記基板ステージの露光中の振動量の許容値、前記基板に与えられる積算露光量の許容誤差、前記基板のアライメント計測精度に関連する物理量、及びアライメント計測の際のオートフォーカスのオン・オフの少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

【請求項 3】 前記基板ステージの位置決め精度に関連する物理量は、位置決め目標値からの許容誤差、最大許容速度、最大許容加速度の少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 2 に記載の露光装置。

【請求項 4】 前記基板のアライメント計測精度に関連する物理量は、前記基板上の複数のアライメントマークの中からアライメント計測のためにアライメントマークを選択する際のその選択に関する量、前記アライメントマークの計測時間の少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 2 に記載の露光装置。

【請求項 5】 前記制御システムは、前記露光対象の最小線幅が $0.7\mu\text{m}$ 未満である場合と、前記露光対象の最小線幅が $0.7\mu\text{m}$ 以上である場合との 2 段階で前記制御ファクタを変更することを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか一

項に記載の露光装置。

【請求項 6】 前記スキャン露光装置における前記一つの区画領域は、(25 mm×33 mm) 及び (26 mm×33 mm) のいずれかのサイズの長形状であることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項 7】 前記マスクは、6 インチサイズであり、前記投影光学系の投影倍率は 1/4 倍であることを特徴とする請求項 6 に記載の露光装置。

【請求項 8】 前記スキャン露光装置における前記一つの区画領域は、(22 mm×26 mm) のサイズの長形状であることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項 9】 前記マスクは、6 インチサイズであり、前記投影光学系の投影倍率は 1/5 倍であることを特徴とする請求項 8 に記載の露光装置。

【請求項 10】 前記イメージフィールドは、前記スキャン露光装置における前記一つの区画領域がほぼ内接するような直径の円形であることを特徴とする請求項 1～9 のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項 11】 リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、請求項 1～10 のいずれか一項に記載の露光装置を用いて露光を行うことを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、露光装置及びデバイス製造方法に係り、更に詳しくは、半導体素子、液晶表示素子等の電子デバイスを製造するリソグラフィ工程で用いられる露光装置、及び該露光装置を用いるデバイス製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来より、半導体素子、液晶表示素子等を製造するリソグラフィ工程では、ステップ・アンド・リピート方式の静止型投影露光装置（いわゆるステッパ）や、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型投影露光装置（走査ステッパ式投影露光装置：いわゆるスキヤニング・ステッパ）などの投影露光装置が主として用い

られている。

【0003】

ところで、半導体素子は、ウエハ等の基板上に回路パターンを数十層重ね合せて形成されるが、各層（レイヤ）におけるパターンの線幅は一様ではない。すなわち、最先端の投影露光装置、例えばK r Fエキシマレーザを光源とするスキャニング・ステッパ（以下、適宜「K r Fスキャナ装置」と略述する）の解像限界と同程度の細い線幅の回路パターンが大部分を占めるクリティカルレイヤ、それに比べて線幅の太い回路パターンから成るノンクリティカルレイヤ（ラフレイヤとも呼ばれる）、及びそれらの中間の線幅の回路パターンが大部分を占めるミドルレイヤなどが存在する。

【0004】

一般に、露光波長は短い程解像力は高くなり、露光波長が同一である場合、解像力すなわち解像可能な最小線幅は、投影光学系の開口数（N. A.）が大きい程微細になる。また、ステッパ等の静止型露光装置（一括露光装置とも呼ばれる）は、スキャニング・ステッパに比べて解像力は僅かに劣るものの高スループットである傾向がある。従って、実際の半導体素子等の製造現場では、各種の露光装置をレイヤ毎に使い分けて、複数種類の露光装置を用いて同一の電子デバイスを製造することが通常行われている。この複数種類の露光装置をレイヤ毎に使い分ける方法としては、露光波長の短いスキャニング・ステッパ（例えばK r Fスキャナ装置）と、露光波長の長いステッパ（例えばi線ステッパ）とを組み合わせるミックス・アンド・マッチが比較的多く行われている。

【0005】

また、従来のステッパ等の露光装置の場合、解像力の向上に無関係なスループットの向上に寄与する条件、例えば基板ステージのショット間ステップング速度、位置決め整定時の許容位置誤差などについては、常に同一の条件の下で露光が行われていた。すなわち、プロセスプログラムファイルと呼ばれる露光条件設定用の一種のデータベースには、各種の制御パラメータを一通りのみ設定するようになっていた。すなわち、従来の露光装置では、要求されるパターン線幅に無関係に、露光可能な最小線幅をターゲットにしてステージパラメータ等の制御パラ

メータを決定していた。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

従来のステッパの露光可能最大領域（以下、「露光範囲」と呼ぶ）のサイズは、例えば22mm×22mmの正方形であり、また、スキャニング・ステッパの露光範囲のサイズは、例えば25mm×33mmの長方形であり、大きさも形状も異なっている。このため、前述したミックス・アンド・マッチにより、ステッパの1ショット領域とスキャニング・ステッパの1ショット領域とを重ね合わせるような、いわゆる1 in 1露光を行う際には、広い面積の露光が可能なスキャニング・ステッパの実際の露光領域をステッパの露光範囲に合わせる必要があり、スキャニング・ステッパの能力（大きな露光可能範囲）を有効に活用することができないという不都合があった。

【0007】

一方、スキャニング・ステッパによる1ショット領域とステッパによる隣接2ショット領域とを重ね合わせるような、いわゆる2 in 1露光を行う際には、二つのショット領域の中心が異なるため、ショット回転、ショット倍率等の誤差が残ってしまうことがある。

【0008】

また、上述の如く、従来の露光装置では露光対象の最小線幅によらず、装置のパラメータは常に固定であったため、細い線幅のパターンを転写する場合でも太い線幅のパターンを転写する場合でも同等の精度で露光が行われていた。すなわち、線幅の太いパターンを対象とするラフレイヤの露光を行う場合であっても、より細い線幅（露光波長と投影光学系の開口数とに応じて決定される解像可能な最小線幅）のパターンを対象とするミドルレイヤあるいはクリティカルレイヤの露光を行う場合と同様の、露光時のステージ振動の許容値や、オートフォーカス時の目標面に対する基板表面の位置ずれ許容値などの制御パラメータが設定されていた。

【0009】

この結果、要求精度が低くスループットをより重視して良いような露光に際し

ても、要求精度が高く、解像力を重視しなければならない露光の場合と同一の制御値を用いて露光が行われていた。

【 0 0 1 0 】

本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第 1 の目的は、スキヤニング・ステッパなどのスキヤン露光装置とのミックス・アンド・マッチを行う際に、そのスキヤン露光装置の能力を最大限に発揮させることができるとともに、露光精度を十分な精度に維持しつつ、スループットを向上させることができる静止型の露光装置を提供することにある。

【 0 0 1 1 】

また、本発明の第 2 の目的は、デバイスの生産性の向上に寄与することができるデバイス製造方法を提供することにある。

【 0 0 1 2 】

【課題を解決するための手段】

請求項 1 に記載の発明は、マスク（R）と基板（W）とをほぼ静止した状態で、前記マスクを介してエネルギービーム（E L）により前記基板を露光する露光装置であって、スキヤン露光装置における前記基板上の一つの区画領域を、前記マスクから射出された前記エネルギービームを前記基板に投射して一括して露光可能な大きさのイメージフィールドを有する投影光学系（P L）を備えた露光システム（1 0 0）と；前記露光システムを全体的に制御するとともに、前記露光システムのスループットに関連する制御ファクタを、露光対象のパターンの最小線幅に応じて変更する制御システム（2 8）と；を備える。

【 0 0 1 3 】

ここで、スキヤン露光装置とは、マスクと基板とを同期移動しながら、そのマスクのパターンを基板上の一つの区画領域に転写する、走査露光方式の露光装置、例えばスキヤニング・ステッパ（走査ステップ式投影露光装置）などを意味する。

【 0 0 1 4 】

これによれば、スキヤン露光装置における基板上の一つの区画領域（ショット領域）を、マスクと基板とをほぼ静止した状態で、マスクから射出されたエネルギー

ギビームを基板に投射して一括して露光可能な大きさのイメージフィールドを有する投影光学系を備えている。このため、前述したミックス・アンド・マッチを行うに際して、スキャン露光装置で1度に露光が可能なショット領域を一度に露光することができる。従って、1 i n 1 露光により、スキャン露光装置の最大露光可能範囲をショット領域として設定でき、これにより、スキャン露光装置の能力を最大限に発揮させることができるとともに、両方の露光装置のショット中心が同一なので重ね合せによるショット回転、ショット倍率等の残留誤差を極力抑制することが可能となる。また、制御システムが、露光対象のパターンの最小線幅に応じてスループットに寄与する露光システムの制御ファクタ（以下、適宜「スループット制御ファクタ」と呼ぶ）を変更することから、例えば、露光対象のパターンの最小線幅が細く、要求される露光精度が厳しい露光については、スループットより解像力を重視した状態（又は値）となり、露光対象のパターンの最小線幅が太く、要求される露光精度がそれほど高くない露光については、反対に解像力よりスループットを重視した状態（又は値）となるように、スループット制御ファクタが変更される。従って、常に同一のスループット制御ファクタに基づいて露光システムを制御する場合に比べて、明らかにスループットを向上することが可能となる。また、この場合、要求される露光精度がそれほど高くない露光、換言すればある程度の露光精度の低下を許容できる場合にのみスループットをより重視した状態（又は値）となるようにスループット制御ファクタが変更されるので、結果的に露光精度については十分な精度を維持できる。

【 0 0 1 5 】

従って、スキャニング・ステッパなどのスキャン露光装置とのミックス・アンド・マッチを行う際に、そのスキャン露光装置の能力を最大限に発揮させることができるとともに、露光精度を十分な精度に維持しつつ、スループットを向上させることができる。

【 0 0 1 6 】

この場合において、請求項2に記載の発明の如く、前記変更対象となる制御ファクタは、前記基板を保持する基板ステージ（W S T）の位置決め精度に関連する物理量の許容値、前記基板ステージの位置決め完了判断までの時間、前記投影

光学系の光軸方向に関する前記基板表面の目標面からの誤差の許容値、前記エネルギービームの照射に起因する前記投影光学系に蓄えられる熱量の許容値、前記基板ステージの露光中の振動量の許容値、前記基板に与えられる積算露光量の許容誤差、前記基板のアライメント計測精度に関連する物理量、及びアライメント計測の際のオートフォーカスのオン・オフの少なくとも1つを含むこととすることができる。

【 0 0 1 7 】

この場合において、請求項3に記載の発明の如く、前記基板ステージの位置決め精度に関連する物理量は、位置決め目標値からの許容誤差、最大許容速度、最大許容加速度の少なくとも1つを含むこととすることができる。また、請求項4に記載の発明の如く、前記基板のアライメント計測精度に関連する物理量は、前記基板上の複数のアライメントマークの中からアライメント計測のためにアライメントマークを選択する際のその選択に関する量、前記アライメントマークの計測時間の少なくとも1つを含むこととすることができる。

【 0 0 1 8 】

上記請求項1～4に記載の各露光装置において、例えば、請求項5に記載の発明の如く、前記制御システムは、前記露光対象のパターンの最小線幅が $0.7\mu\text{m}$ 未満である場合と、前記露光対象のパターンの最小線幅が $0.7\mu\text{m}$ 以上である場合との2段階で前記制御ファクタを変更することとしても良い。

【 0 0 1 9 】

上記請求項1～5に記載の各露光装置において、請求項6に記載の発明の如く、前記スキャン露光装置における前記一つの区画領域は、 $(25\text{mm} \times 33\text{mm})$ 及び $(26\text{mm} \times 33\text{mm})$ のいずれかのサイズの長形状であることとすることができる。この場合、例えば請求項7に記載の発明の如く、前記マスクは、6インチサイズであり、前記投影光学系の投影倍率は $1/4$ 倍であることとすることができる。

【 0 0 2 0 】

また、上記請求項1～5に記載の各露光装置において、請求項8に記載の発明の如く、前記スキャン露光装置における前記一つの区画領域は、 $(22\text{mm} \times 2$

6 mm) のサイズの長方形状であることとすることができる。この場合、請求項 9 に記載の発明の如く、前記マスクは、6 インチサイズであり、前記投影光学系の投影倍率は $1/5$ 倍であることとすることができる。

【0021】

上記請求項 1 ～ 9 に記載の各露光装置において、請求項 10 に記載の発明の如く、前記イメージフィールドは、前記スキャン露光装置における前記一つの区画領域がほぼ内接するような直径の円形であることとすることができる。すなわち、スキャン露光装置における前記一つの区画領域が ($a \text{ mm} \times b \text{ mm}$) の矩形である場合、イメージフィールドは、少なくとも直径 $D \equiv (a^2 + b^2)^{1/2}$ の円形とすることができる。

【0022】

請求項 11 に記載の発明は、リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の露光装置を用いて露光を行うことを特徴とする。

【0023】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の一実施形態を図 1 ～ 図 6 に基づいて説明する。図 1 には、一実施形態に係る露光装置の構成が概略的に示されている。この露光装置 10 は、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）である。この露光装置 10 は、クリーンルーム床面上に X 軸方向（図 1 における左右方向）に隣接して配置された本体チャンバ 12 と機械室チャンバ 20 とを備えている。

【0024】

本体チャンバ 12 は、隔壁により、部屋 22 と部屋 24 との二つの部屋に仕切られている。図 1 における左の部屋 22 は、その内部に後述する制御システムとしての主制御装置 28（図 2 参照）、その他のプロセッサ等が収容されている。また、この部屋 22 は、その内部に不図示の隔壁により仕切られた上下二つの部屋 36 a、36 b が設けられている。上側の部屋 36 a は、その内部に不図示のレチクルライブラリ及び多関節ロボットから成るレチクルローダ 40 a などが設

置されたレチクルローダ室となっている。また、下側の部屋 3 6 b は、その内部に不図示のウエハキャリアや多関節ロボットから成るウエハローダ 4 0 b などが設置されたウエハローダ室となっている。さらに、部屋 2 2 には、ディスプレイやキーボード等の入出力装置 2 9（図 2 参照）が配置されている。

【 0 0 2 5 】

前記部屋 2 4 は、その内部に露光システム 1 0 0 の殆どの部分が収容された露光室となっている。露光システム 1 0 0 は、波長 3 6 5 n m の紫外域の輝線（i 線）によりマスクとしてのレチクル R を照明する照明ユニット I L U、レチクル R を保持するレチクルステージ R S T、レチクルステージ R S T の図 1 における下方に配置された投影光学系 P L、及びこの投影光学系 P L の下方に配置され基板としてのウエハ W が載置されるステージ装置 4 2 等を備えている。照明ユニット I L U は、図 1 に示されるように、その一部（図 1 における右側部分が機械室チャンバ 2 0 内に配置され、残りの部分が露光室 2 4 内に配置されている。露光システム 1 0 0 の他の構成部分は、露光室 2 4 内に配置されている。

【 0 0 2 6 】

前記機械室チャンバ 2 0 の内部には、クーラー、ヒータ、送風ファン等（いずれも図示省略）を含む空調装置が収容されている。この空調装置によって、不図示の給排気配管系を介して露光室 2 4 内、レチクルローダ室 3 6 a 及びウエハローダ室 3 6 b 内の空調が行われ、これらの部屋の内部は、目標温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 程度に温調がなされている。また、給排気系の各所には、必要に応じて、パーティクル除去用のエアフィルタ（H E P A フィルタ、U L P A フィルタなど）が設置されている。

【 0 0 2 7 】

次に、露光システム 1 0 0 の構成各部について詳細に説明する。まず、照明ユニット I L U について説明する。この照明ユニット I L U は、図示は省略されているが、実際には、照明系ハウジング内に所定の位置関係で配置された、露光用光源である超高圧水銀ランプ、楕円鏡、シャッタ、干渉フィルタ、インプットレンズやフライアイレンズ（又はロッドレンズ（内面反射型インテグレータ））等を含む照度均一化光学系、リレーレンズ系、レチクルブラインド、ミラー、及び

メインコンデンサレンズ等を備えている。

【0028】

この照明ユニット I L U によると、水銀ランプから発せられたエネルギービームとしての照明光 E L は楕円鏡によって第 2 焦点に集光され、不図示のシャッタを介して干渉フィルタに入射する。そして、この干渉フィルタにより、露光に必要な波長スペクトル、例えば波長 3 6 5 n m の i 線のみが取り出される。干渉フィルタを経由した露光用照明光（以下、「露光光」という）E L（i 線成分）は照度均一化光学系に入射し、照度分布が均一な光となって、リレーレンズ系を介してレチクルブラインド 3 2（図 2 参照）を照明する。そして、このレチクルブラインド 3 2 の開口を通過した露光光 E L（i 線成分）は、ミラー M 2 及びメインコンデンサレンズ 3 8（図 2 参照）を介して、レチクル R 上のレチクルブラインド 3 2 の開口で規定される照明領域内を均一に照明する。この場合、レチクルブラインド 3 2 としては、図 2 に示されるように、2 枚の L 字状の可動ブレード 4 5 A、4 5 B から成る可動ブラインド（以下、この可動ブラインドを「可動ブラインド 4 5 A、4 5 B」とも呼ぶ）が用いられている。この可動ブラインド 4 5 A、4 5 B の配置面はレチクル R のパターン面と共役となっている。可動ブラインド 4 5 A、4 5 B は、可動ブラインド駆動機構 4 3 A、4 3 B によって駆動されるようになっており、この駆動機構 4 3 A、4 3 B の動作が主制御装置 2 8 によって制御されるようになっている。

【0029】

ここで、露光光としては i 線の他、波長 4 3 6 n m の g 線を用いても良く、あるいは複数種類の波長の光が混合された光を用いても良い。なお、水銀ランプに代えて、K r F エキシマレーザ光（波長：2 4 8 n m）、A r F エキシマレーザ光（波長：1 9 3 n m）のような遠紫外領域のパルス光を発するエキシマレーザ等によって光源を構成しても良い。

【0030】

図 1 に戻り、レチクルステージ R S T は、その上面の四つのコーナー部分に真空吸着部 5 2 を有し、この真空吸着部 5 2 を介してレチクル R がレチクルステージ R S T 上に保持されている。このレチクルステージ R S T は、レチクル R 上の

回路パターンが形成された領域であるパターン領域 P A（図 2 参照）に対応した開口（図示省略）を有し、不図示の駆動機構により X 方向、Y 方向、 θz 方向（Z 軸回りの回転方向）に微動可能となっている。

【 0 0 3 1 】

前記レチクル R としては、一例として、一辺が 6 インチ、すなわち約 1 5 2 . 4 m m の正方形のガラス基板の一方の面（図 1 における下面）に幅約 1 0 0 m m 、長さ約 1 3 2 m m の長方形のパターン領域 P A が形成されたものが用いられる。パターン領域 P A の中心と、ガラス基板の中心とは設計上は一致している。このパターン領域 P A の周囲には、約 2 m m 程度の幅を有する遮光帯が設けられている。

【 0 0 3 2 】

投影露光装置では、露光に先立ってレチクルを所定の基準位置に位置合わせする必要がある。この位置合わせの基準として、レチクル・アライメント・マークが、通常設けられている。そして、このレチクル・アライメント・マークをレチクルアライメント顕微鏡（本実施形態のレチクル・アライメント顕微鏡については後述する）で計測して、レチクルの基準位置からのずれ（ ΔX 、 ΔY 、 $\Delta \theta z$ ）を求め、これらのずれを補正するようにレチクルを微少駆動（微動調整）するレチクルの位置合わせ（レチクルアライメント）が行われる。レチクルアライメントは、ファーストレイヤ、セカンドレイヤ以降を問わず、露光に先立って必ず行われるため、すべてのレチクルにレチクル・アライメント・マークを予め形成しておく必要がある。

【 0 0 3 3 】

レチクル R の上方には、C C D 等の撮像素子を有し、露光波長の光をアライメント用照明光とする画像処理方式の一对のレチクルアライメント顕微鏡 R A 1 , R A 2 が配置されている。この場合、レチクルアライメント顕微鏡 R A 1 , R A 2 は、投影光学系 P L の光軸 A X を含む Y Z 平面に関して対称（左右対称）な配置で設置されている。また、これらのレチクルアライメント顕微鏡 R A 1 , R A 2 は光軸 A X を通る X Z 面内で X 軸方向に往復移動が可能な構造となっている。

【 0 0 3 4 】

通常、これらのレチクルアライメント顕微鏡 R A 1, R A 2 は、レチクル R がレチクルステージ R S T 上に載置された状態で、レチクル R の遮光帯の外側に配置された一対のレチクル・アライメント・マークをそれぞれ観察可能な位置に設定されている。

【 0 0 3 5 】

レチクルアライメント顕微鏡 R A 1, R A 2 を用いることにより、パターン領域 P A の中心（レチクルセンタ）が投影光学系 P L の光軸 A X を通るようにレチクル R の位置決めが可能な構成となっている。

【 0 0 3 6 】

これまでの説明から明らかなように、本実施形態の露光装置 1 0 では、レチクルアライメント顕微鏡 R A 1, R A 2 が X 軸方向に可動となっているので、スキャン露光装置用のレチクルを用いたとしても、そのうちの適当な少なくとも 1 組のレチクル・アライメント・マークを用いることにより、レチクルアライメントを実行することができる。

【 0 0 3 7 】

前記投影光学系 P L は、レチクル R の下方でその光軸 A X 方向を Z 軸方向として不図示の本体コラムに保持され、光軸 A X 方向に所定間隔で配置された複数枚のレンズエレメント（屈折光学素子）とこれらのレンズエレメントを保持する鏡筒から成る例えば両側テレセントリックな屈折光学系が用いられている。この投影光学系 P L としては、例えば、開口数 N. A. が 0. 5 2、投影倍率 $1/4$ 、像面側のイメージフィールド E f が直径 $D = \text{約 } 41.4 \text{ mm}$ の円形（図 3 参照）で、ウエハ W 上に $0.3 \mu\text{m}$ 程度の線幅を持ったパターンを解像できるものが用いられている。この投影光学系 P L によると、 $(25 \times 25 + 33 \times 33)^{1/2} = 41.4$ が成立するので、 $25 \text{ mm} \times 33 \text{ mm}$ の矩形の露光範囲を一度に露光することが可能である。

【 0 0 3 8 】

前記ステージ装置 4 2 は、ベース 5 4 と、このベース 5 4 上を図 1 における Y 方向に往復移動可能な Y ステージ 5 6 と、この Y ステージ 5 6 上を Y 方向と直交する X 方向に往復移動可能な X ステージ 5 8 と、この X ステージ 5 8 上に設けら

れた基板ステージとしての基板テーブル 6 0 とを有している。また、基板テーブル 6 0 上に、ほぼ円形のウエハホルダ 6 2 が載置され、このウエハホルダ 6 2 によってウエハ W が真空吸着によって保持されている。

【 0 0 3 9 】

前記基板テーブル 6 0 は、X ステージ 5 8 上に X Y 方向に位置決めされ、かつ Z 軸方向の移動及び X Y 平面に対する傾斜が許容された状態で取り付けられている。そして、この基板テーブル 6 0 は、異なる 3 点の支持点で不図示の 3 本の軸によって支持されており、これら 3 本の軸がウエハ駆動装置 2 1（図 2 参照）によって独立して Z 軸方向に駆動され、これによって基板テーブル 6 0 上に保持されたウエハ W の面位置（Z 軸方向位置及び X Y 平面に対する傾斜）が所望の状態に設定されるようになっている。

【 0 0 4 0 】

この基板テーブル 6 0 上には移動鏡 2 7 が固定され、外部に配置された干渉計 3 1 により、基板テーブル 6 0 の X 方向、Y 方向及び θ_z 方向（Z 軸回りの回転方向）の位置がモニタされ、干渉計 3 1 により得られた位置情報が主制御装置 2 8（図 2 参照）に供給されている。主制御装置 2 8 は、図 2 に示されるウエハ駆動装置 2 1（これは、X ステージ 5 8、Y ステージ 5 6 の駆動系及び基板テーブル 6 0 の駆動系の全てを含む）を介して Y ステージ 5 6、X ステージ 5 8 及び基板テーブル 6 0 の位置決め動作を制御すると共に、装置全体の動作を統括制御する。

【 0 0 4 1 】

また、基板テーブル 6 0 上の一端部には、各種基準マークが形成された基準マーク板 FM が固定されている。この各種基準マークには、後述するオフアクシス方式のアライメント顕微鏡の検出中心から投影光学系 P L の光軸までの距離を計測するベースライン計測、レチクルアライメントなどに用いられる基準マークが含まれる。

【 0 0 4 2 】

前記投影光学系 P L の鏡筒の - Y 側（図 1 における紙面手前側）の側面には、オフアクシス（off-axis）方式のマーク検出系としてのアライメント顕微鏡 A L

Gが設置されている。このアライメント顕微鏡ALGとしては、例えば、ハロゲンランプ等のブロードバンド（広帯域）光でマークを照明し、このマーク画像を画像処理することによってマーク位置を計測するFIA（Field Image Alignment）系のアライメントセンサが用いられている。このアライメント顕微鏡ALGは、基板テーブル60上に設けられた基準マーク板FM上の基準マーク及びウエハ上のアライメントマークのX、Y 2次元方向の位置計測を行なうことが可能である。

【0043】

このアライメント顕微鏡ALGからの情報は、不図示のアライメント制御装置に送られる。そして、アライメント制御装置により、その情報がA/D変換され、そのデジタル化された波形信号を演算処理してマーク位置が検出される。この検出されたマーク位置の情報が、主制御装置28に送られる。

【0044】

なお、アライメント顕微鏡として、例えば、LSA（Laser Step Alignment）系、LIA（Laser Interferometric Alignment）系等のアライメントセンサを用いても構わない。

【0045】

更に、本実施形態では、投影光学系PLによるパターンの投影領域（この投影領域に対応するウエハW上の領域を以下「露光領域」と呼ぶ）内にウエハWが位置したときXY平面に平行な基準となる仮想的な面（基準面）に対するウエハW表面のZ方向（光軸AX方向）の位置を検出するための斜入射光式の焦点検出系の一つである多点フォーカス位置検出系が設けられている。この多点フォーカス位置検出系は、図1に示されるように、投影光学系PLの光軸に対して所定角度傾斜した方向からウエハW表面に多数の結像光束を照射する照射系74と、それらの結像光束のウエハW表面からの反射光を個別に受光する受光系76とを備えている。

【0046】

これを更に詳述すると、照射系74は、図2に示されるように、光ファイバ束81、集光レンズ82、パターン形成板83、レンズ84、ミラー85及び照射

対物レンズ 8 6 等を含んで構成されている。また、受光系 7 6 は、集光対物レンズ 8 7、回転方向振動板 8 8、結像レンズ 8 9、受光用スリット板 9 8 及び多数の受光センサを有する受光器 9 0 等を含んで構成されている。

【 0 0 4 7 】

ここで、この多点フォーカス位置検出系（7 4、7 6）の構成各部の作用を説明すると、露光光とは異なるウエハ W 上のフォトレジストを感光させない波長の照明光 I L が、図示しない照明光源から光ファイバ束 8 1 を介して導かれている。光ファイバ束 8 1 から射出された照明光 I L は、集光レンズ 8 2 を経てパターン形成板 8 3 を照明する。パターン形成板 8 3 を透過した照明光（光束）I L は、レンズ 8 4、ミラー 8 5 及び照射対物レンズ 8 6 を経てウエハ W 表面に投影され、ウエハ W 表面にはパターン形成板 8 3 上のパターンの像が投影結像される。ウエハ W で反射された照明光（パターン像の光束）I L は、集光対物レンズ 8 7、回転方向振動板 8 8 及び結像レンズ 8 9 を経て受光器 9 0 の手前側に配置された受光用スリット板 9 8 上に再結像される。ここで、受光器 9 0 は、ウエハ W 上に投影される複数のパターン像の反射光を個別に受光する複数のフォトダイオード等の受光センサを有し、受光用スリット板 9 8 には、各受光センサに対応するスリットが設けられている。従って、受光用スリット板 9 8 上に再結像されたパターン像の光束は、それぞれのスリットを介して各受光センサで受光され、各受光センサからの検出信号（光電変換信号）はセンサ選択回路 9 3 を介して信号処理装置 9 1 に供給される。

【 0 0 4 8 】

主制御装置 2 8 は、加振装置（例えばバイブレータや超音波振動子等）9 2 を介して回転方向振動板 8 8 に振動を与える。各スリット像のウエハ W からの反射光は全て回転方向振動板 8 8 によって振動されているため、受光用スリット板 9 8 上に再結像される各パターン像と各受光素子とは相対的に振動している。信号処理装置 9 1 は、センサ選択回路 9 3 によって選択された受光器 9 0 上の複数の受光素子からの各検出信号を加振装置 9 2 の振動信号で同期検波してフォーカス信号（S カーブ信号）を得て、このフォーカス信号を主制御装置 2 8 に供給する。

【 0 0 4 9 】

なお、主制御装置 2 8 は、ウエハ W の表面が基準平面（例えば投影光学系 P L の結像面）と一致したとき、各フォーカス信号が 0 となるように、例えば、スリット板 9 8 の前面に配置された不図示のプレーンパラレルの角度を調整したり、あるいはフォーカス信号の値に電氣的にオフセットを加えたりして、予め各受光センサのキャリブレーションを行っている。

【 0 0 5 0 】

センサ選択回路 9 3 は、主制御装置 2 8 からの指令に応じ、 n 本（ n は、例えば 9）の光電変換信号の出力線（ $O_1 \sim O_n$ とする）のそれぞれに、受光センサの内から選択された最大で n 個の受光センサの検出信号を個別に出力させる回路である。

【 0 0 5 1 】

信号処理装置 9 1 の内部には、例えば、 n 本の出力線 $O_1 \sim O_n$ のそれぞれに個別に接続された n 個の信号処理回路と、これらの信号処理回路からの出力信号をデジタル変換するとともに、シリアルデータとして主制御装置 2 8 に出力する信号出力回路等が設けられている。

【 0 0 5 2 】

前記主制御装置 2 8 は、CPU（中央演算処理装置）、ROM（リード・オンリ・メモリ）、RAM（ランダム・アクセス・メモリ）、I/O インタフェース等を含むマイクロコンピュータ（あるいはワークステーション）により構成され、露光システム 1 0 0 の構成各部を統括的に制御する。

【 0 0 5 3 】

この主制御装置 2 8 には、入出力装置 2 9 が併設されている。この入出力装置 2 9 は、キーボード、マウス等のポインティングデバイス、及びディスプレイ等を含む。この入出力装置 2 9 を介してオペレータにより各種のデータ入力が行われる。

【 0 0 5 4 】

次に、本実施形態の露光システム 1 0 0 を用いて、スキャン露光装置とのミックス・アンド・マッチを行う場合について説明する。

【 0 0 5 5 】

ここでは、図 3 示されるように、露光領域 $E f'$ が、 $25\text{ mm} \times 8\text{ mm}$ で、一つのショット領域（区画領域） $S A'$ が $25\text{ mm} \times 33\text{ mm}$ の長方形である $K r F$ スキャナを、スキャン露光装置として用いるものとする。この $K r F$ スキャナは、ウエハ側のイメージフィールドが直径 $d = (8^2 + 25^2)^{1/2} \cong 26.25\text{ mm}$ の円形である投影光学系 $P L'$ を備えている。なお、この図 3 では、露光領域 $E f'$ が矢印 $S D$ の方向に走査されるように図示されているが、実際には、露光領域 $E f'$ が固定でウエハ W が矢印 $S D$ と反対向きに走査される。

【 0 0 5 6 】

この場合、図 3 から明らかなように、本実施形態の露光システム 100 の露光領域 $E f$ のサイズと $K r F$ スキャナのショット領域 $S A'$ のサイズとが一致している。このため、このミックス・アンド・マッチを行うに当たって、従来の i 線ステッパと異なり、いわゆる $1 i n 1$ の露光を行うことが可能となっている。勿論、このミックス・アンド・マッチでは、クリティカルレイヤについては $K r F$ スキャナを用いて露光を行い、 $0.3\text{ }\mu\text{ m}$ ラインアンドスペース以上のミドルレイヤ、又はノンクリティカルレイヤ（ラフレイヤ）については、露光システム 100 を用いて露光を行う。本実施形態の露光システム 100 では、 200 mm ウエハで 1 時間当たり 120 枚という高スループットを実現することが可能である。

【 0 0 5 7 】

次に、露光装置 10 における一連の処理動作について、主制御装置 28 の制御アルゴリズムを示す図 4 のフローチャートを中心に、かつ適宜他の図面を参照しつつ説明する。

【 0 0 5 8 】

前提として、図 5 に示されるようなデータテーブルが予め作成され、主制御装置 28 の $R A M$ 内に記憶されているものとする。この図 5 のデータテーブルについて簡単に説明する。露光対象のパターンの最小線幅（以下、適宜「露光対象最小線幅」という） L は、レチクル R 上に形成された回路パターンの内の最小線幅パターンがウエハ W 上に転写されてできるパターン像の線幅を意味し、要求され

る露光精度を示す値である。図5から明らかなように、本実施形態では、この露光対象最小線幅 L が、 $0.3\mu\text{m}$ 以上 $0.7\mu\text{m}$ 未満であるモード（以下、便宜上「ミドルモード」と呼ぶ）と、 $0.7\mu\text{m}$ 以上であるモード（以下、便宜上「ラフモード」と呼ぶ）との2つのモードが用意されている。そして、それぞれのモードに対して、X、Y許容値、Z許容値、アライメント計測画面数、サンプルショット数などの露光システム100のスループットに関連する制御ファクタが設定されている。

【0059】

図5において、X、Y許容値とは、ショット間ステッピングなどの際のXステージ58、Yステージ56（基板テーブル60）の位置決め整定（位置決めが完了したかどうか）の判断の基準となる値で、目標値（目標位置）に対するX軸方向、Y軸方向の位置誤差（ $e r r$ ）の許容範囲を規定する両端の値、又は誤差の絶対値（目標値に対するプラス側の誤差とマイナス側の誤差の許容最大値が同じ値の場合）を意味する。ここで、これらのX、Y許容値をモード毎に設定する理由について、図6を参照して説明する。

【0060】

Xステージ58、Yステージ56のショット間ステッピング時には、速度変化がほぼ台形状となるように、加速→等速移動→減速が行われた後、停止状態となる。図6には、この減速終了後の目標値に対する位置誤差の時間変化が示されている。この図6に示されるように、位置決めの際にはXステージ58、Yステージ56は振動する。通常、目標値に対する位置誤差（ $e r r$ ）が所定の許容範囲内になった時点で位置決めが完了したものと判断するようになっている。上記の許容範囲は、通常、標準偏差、すなわちRMS値を基準として定められる。この図6から明らかなように、上記の位置誤差（ $e r r$ ）の許容範囲を、Aの範囲に設定する場合に比べてBの範囲に設定すると、位置決めの完了の判断が時間 T_1 だけ早くなされるようになり、その分、スループットが向上する。そこで、本実施形態では、露光対象最小線幅 L 、すなわち要求される露光精度に応じて、X、Y許容値、従ってこれによって規定される許容誤差範囲（図6のA、B参照）を変更し、要求される露光精度を維持しつつスループットを向上しようとの観点から、

X, Y 許容値をモード毎に設定しているのである。

【0061】

図5に戻り、Z許容値とは、露光の際の焦点ずれの許容値、すなわち、多点フォーカス位置検出系（74、76）の出力に基づきウエハW表面を投影光学系PLの結像面（目標面）に一致させるときの、その光軸方向（Z軸方向）に関するウエハW表面の目標面に対する位置誤差の許容範囲を規定する両端の値、又は誤差の絶対値（目標面に対するプラス側の誤差とマイナス側の誤差の許容最大値が同じ値の場合）を意味する。例えば、露光対象最小線幅Lが細く、要求される露光精度が厳しい場合には、露光の際に許容される焦点ずれ量は非常に小さくなり、反対に露光対象最小線幅Lがそれほど細くなく、要求される露光精度が緩やかであれば露光の際に許容される焦点ずれ量は多少大きくても影響は殆どない。フォーカスの追い込み時間は、Z許容値に依存するので、Z許容値は、露光システム100のスループットを左右する。

【0062】

図5において、アライメント計測画面数とは、アライメント顕微鏡ALGのようなFIA系のセンサは、複数画面の画像を取り込み、その複数画面の画像信号の平均値などに基づいてマーク位置を検出するので、その画像取り込みの画面数、すなわち計測画面数を変えることによって計測精度を向上させたり、低下させたりすることができる。この計測画面数は、計測時間を左右する。

【0063】

また、サンプルショット数とは、第2層目（セカンドレイヤ）以降の露光の際に、各層（レイヤ）の露光に先立って行われるEGA（エンハンスト・グローバル・アライメント）のサンプルショット数を指す。ここで、EGAとは、ウエハ上の複数のショット領域の中から予め選択した特定の複数（3以上）のショット領域（サンプルショット）に付設されたアライメントマークをアライメント顕微鏡を用いて計測し、その計測結果とウエハ上の各ショット領域の設計上の配列座標とに基づいて、最小二乗法を用いた所定の統計演算を行い、ウエハ上の各ショット領域の配列座標を求めるアライメント方法を言う。EGAについては、特開昭61-44429号公報などに詳細に開示されている。サンプルショット数を

変更することは、レチクルとウエハとの相対位置合わせ精度を変更することにつながる。また、サンプルショット数は、計測時間を左右する。

【 0 0 6 4 】

図 4 の制御アルゴリズムがスタートするのは、オペレータにより入出力装置 2 9 を介して、露光対象のパターンの最小線幅 L の入力、その他の露光条件設定のための各種の入力が行われた後、開始の指示がなされたときである。

【 0 0 6 5 】

まず、ステップ 1 0 2 において、RAM 内の所定の格納領域に記憶されている、露光対象最小線幅 L が、 $0.3 \mu\text{m} \leq L < 0.7 \mu\text{m}$ を満足するか否かを判断する。ここで、例えば、オペレータが、 $L = 0.35 \mu\text{m}$ を入力していたものとする、このステップ 1 0 2 における判断は肯定され、ステップ 1 0 4 に進む。

【 0 0 6 6 】

ステップ 1 0 4 では、前述した図 5 のデータテーブルに従い、ミドルモードのパラメータを選択した後、ステップ 1 1 0 に進んで、前述したレチクルアライメント及びベースライン計測、及びレチクルブラインド 3 2 のパターン領域 PA に合わせた開口設定などの所定の準備作業を、所定の手順で実行する。

【 0 0 6 7 】

次のステップ 1 1 2 では、不図示のウエハローダと基板テーブル 6 0 上の不図示の受け渡し機構とを用いてウエハ交換（基板テーブル 6 0 上にウエハがないときは単なるウエハのロード）を行う。

【 0 0 6 8 】

次のステップ 1 1 4 では、上述した EGA 方式によるウエハアライメントを実行する。この際、サンプルショット数を 1 2、それらのサンプルショットに付設された各アライメントマークの計測時のアライメント顕微鏡 ALG の計測画面数を 5 として、アライメントマークの位置計測を行う。そして、この計測結果、すなわち、アライメント顕微鏡 ALG の指標中心を基準とする各アライメントマークの位置情報と、各アライメントマーク計測時のウエハテーブル 6 0 の位置情報とに基づいて、各アライメントマークのステージ座標系 (X, Y) 上の位置を算出し、この算出結果とウエハ W 上の各ショット領域の設計上の配列座標とに基づ

いて、最小二乗法を用いた所定の統計演算を行い、ウエハW上の各ショット領域の配列座標（位置決め目標位置の座標）を求める。

【 0 0 6 9 】

次のステップ 1 1 6 では、次のようにしてステップ・アンド・リピート方式の露光を行い、ウエハW上の各ショット領域にレチクルRのパターンを順次転写する。

【 0 0 7 0 】

すなわち、上記ステップ 1 1 4 におけるウエハアライメント結果に基づいて、ウエハ駆動装置 2 1 を介してXステージ 5 8、Yステージ 5 6 を駆動し、基板テーブル 6 0 に保持されたウエハW上のファーストショットをレチクルパターンの投影位置に位置決めする。この場合、位置決め完了の判断は、X軸方向及びY軸方向について目標値との位置誤差（e r r）が $\pm 0.1 \mu\text{m}$ の範囲内に収まった時点で行う。この位置決め完了とほぼ同時に、照射系 7 4 から照明光 I L をウエハW上に照射し、信号処理装置 9 1 から出力される各フォーカス信号に基づいて選択された各計測点のZ位置を計測し、それらのZ位置に基づいて例えばウエハW上の領域の仮想平面を求め、ウエハW上のショット領域（露光領域に一致）のベストフォーカス位置である目標面からの位置ずれ、すなわち焦点ずれの許容値が、所定の誤差（ $\pm 0.1 \mu\text{m}$ ）の範囲内となるようにウエハ駆動装置 2 1 を介して基板テーブル 6 0 のZ駆動及びXY平面に対する傾斜を制御する。すなわち、このようにしてウエハWのフォーカス・レベリング制御を行う。

【 0 0 7 1 】

そして、照明ユニット I L U 内のシャッタを開いて露光光 E L によりレチクルRを照射してウエハWのファーストショットにレチクルRのパターンを転写する。

【 0 0 7 2 】

その後、Yステージ 5 6 及びXステージ 5 8 の駆動を制御してウエハW上のセカンドショット以降のショット領域をレチクルパターンの投影領域に順次位置決めしつつ、上記と同様にしてレチクルパターンを転写する。セカンドショット以降においても、前述と同様に、ショット間ステッピング時の位置決め完了の判断

は、X軸方向及びY軸方向について目標値との位置誤差（ $e r r$ ）が $\pm 0.1 \mu m$ の範囲内に収まった時点で行うとともに、フォーカス・レベリング制御の際の焦点ずれが、所定の誤差（ $\pm 0.1 \mu m$ ）の範囲内となった時点で、露光を開始する。

【 0 0 7 3 】

このようにして、ウエハWの露光が終了すると、ステップ118に進んで予定枚数のウエハの露光が終了したか否かを判断し、この判断が否定されると、ステップ112に戻り、ステップ112～ステップ118の処理、判断を繰り返す。そして、予定枚数のウエハの露光が終了すると、ステップ118における判断が肯定され、本ルーチンの一連の処理を終了する。

【 0 0 7 4 】

この一方、上記ステップ102における判断が否定された場合は、ステップ106に進み、最小線幅Lが、 $L \geq 0.7 \mu m$ を満足するか否かを判断する。ここで、オペレータが例えば露光対象最小線幅として、 $L = 0.8 \mu m$ 等の値を入力していたものとする、ステップ106の判断は肯定され、ステップ108に進む。

【 0 0 7 5 】

ステップ106では、前述した図5のデータテーブルに従い、ラフモードのパラメータを選択した後、ステップ110に進んで、前述した所定の準備作業を、所定の手順で実行する。その後、ステップ118の判断が肯定されるまで、ステップ112～ステップ118の処理、判断を繰り返し行う。この場合、ステップ114では、上述したEGA方式によるウエハアライメントを行うが、この際、サンプルショット数を3、それらのサンプルショットに付設された各アライメントマークの計測時のアライメント顕微鏡ALGの計測画面数を1として、アライメントマークの位置検出を行う。また、ステップ116においては、前述と同様にしてステップ・アンド・リピート方式の露光を行い、ウエハW上の各ショット領域にレチクルRのパターンを順次転写するが、ショット間ステッピング時の位置決め完了の判断は、X軸方向及びY軸方向について目標値との位置誤差（ $e r r$ ）が $\pm 1 \mu m$ の範囲内に収まった時点で行う。また、露光に先立って行われる

フォーカス・レベリング制御は、焦点ずれの許容値を、所定の誤差 ($\pm 1 \mu\text{m}$) の範囲内として行う。

【 0 0 7 6 】

この一方、オペレータが露光対象最小線幅として、 $L = 0.2 \mu\text{m}$ 等の値を入力していたものとする、上記ステップ 1 0 2、ステップ 1 0 6における判断は順次否定され、ステップ 1 2 0に移行して、入出力装置 2 9のディスプレイ上に、線幅入力異常の表示を行うとともに、処理を強制終了する。これは、この露光装置 1 0では、線幅 $0.3 \mu\text{m}$ が解像限界であり、それより細かいパターンは露光対象として想定していないためである。従って、その線幅入力異常の原因が、オペレータの単なる入力ミスにあるか、あるいは実際に露光対象のレイヤが最小線幅 $0.3 \mu\text{m}$ 未満のクリティカルレイヤであるか等は無関係である。

【 0 0 7 7 】

このように、本実施形態の露光装置 1 0では、図 4のフローチャートに従って一連の処理が行われる結果、露光に要求される露光精度（本実施形態では、前述の如く露光対象最小線幅 L に基づいて判断される）に応じて、a. 基板テーブル 6 0の X , Y 許容値、すなわちショット間ステッピング時の位置決めの整定を判断する目標値に対する位置誤差 ($e r r$) の許容値、b. Z 許容値、すなわちフォーカス・レベリング制御時の焦点ずれの許容値、c. アライメント計測画面数、d. EGAのサンプルショット数が、次のように変更される。

【 0 0 7 8 】

すなわち、主制御装置 2 8では、要求される露光精度が高く、基板テーブル 6 0の位置決めを高精度に行う必要があるミドルモードのときには、 X , Y の許容値を小さく設定して十分に基板テーブル 6 0の位置決めが整定するのを待ってから次の動作を開始するようにして極力露光精度が高くなるようにし、反対に露光精度が高くなく、基板テーブル 6 0の位置決め精度がラフで良いラフモードのときには、 X , Y の許容値を大きくして位置決め整定時間を短くしている。要求される露光精度にかかわらず、 X , Y の許容値を一定の値に設定していた場合に比べて、スループットの向上が可能になる。

【 0 0 7 9 】

また、主制御装置 2 8 では、要求される露光精度が厳しいミドルモードの場合には、それに応じて露光の際の焦点ずれの許容値を小さくし、要求される露光精度がそれほど厳しくないラフモードの場合には、露光の際の焦点ずれの許容値を多少大きく設定している。この結果、前者に比べて後者の場合フォーカスの追込み時間が短くなり、要求される露光精度にかかわらず、露光の際の焦点ずれの許容値を一律に設定する場合に比べて、露光処理時間の短縮が可能になる。この場合、露光精度を十分に維持することができる。

【 0 0 8 0 】

また、主制御装置 2 8 では、要求される露光精度が厳しいミドルモードのときは、E G A サンプルショット数を多くし、要求される露光精度がそれほど厳しくないラフモードのときは、サンプルショット数を少なくするようにしている。この結果、要求される露光精度によらず、常に同数のサンプルショット数を用いる場合に比べて、スループットを向上させることができる。また、露光精度も十分に維持することができる。

【 0 0 8 1 】

また、主制御装置 2 8 では、要求される露光精度が厳しいミドルモードのときは、アライメント計測画面数を多くし、要求される露光精度がそれほど厳しくないラフモードのときは、アライメント計測画面数を少なくするようにしている。この結果、要求される露光精度によらず、常に同数のアライメント計測画面数を用いる場合に比べて、アライメント計測時間の短縮によるスループットの向上が可能である。また、露光精度も十分に維持することができる。

【 0 0 8 2 】

以上詳細に説明したように、本実施形態の露光装置 1 0 は、スキャン露光装置、例えば K r F スキャナにおけるウエハ上の一つのショット領域（区画領域）を、レチクル R とウエハ W とをほぼ静止した状態で、レチクル R から射出された露光光 E L をウエハ W に投射して一括して露光可能な大きさのイメージフィールドを有する投影光学系 P L を備えている。このため、前述したミックス・アンド・マッチを行うに際して、K r F スキャナ等のスキャン露光装置で 1 度に露光が可能なショット領域を一度に露光することができる。従って、1 i n 1 露光により

、スキャン露光装置の露光可能な最大範囲をショット領域として設定でき、これにより、スキャン露光装置の能力を最大限に発揮させることができる。また、スキャン露光装置と露光装置 1 0 とは、ショット中心が同一なので重ね合せによるショット回転、ショット倍率等の残留誤差を極力抑制することが可能となる。

【 0 0 8 3 】

また、本実施形態の露光装置 1 0 0 によると、上記 a. ～ d. のような種々のスループット制御ファクタが主制御装置 2 8 によって、露光対象最小線幅 L (要求される露光精度) に応じて前述の如く変更されるので、同一ウエハに対する露光を、常に同じスループット制御ファクタに基づいて露光システム 1 0 0 が制御される場合に比べて、明らかにスループットを向上させることが可能となる。一方、要求される露光精度がそれほど高くない、換言すればある程度の露光精度の低下を許容できる場合にのみスループットをより重視した状態となるように、スループット制御ファクタが変更されるので、結果的に露光精度については十分な精度を維持できる。

【 0 0 8 4 】

なお、上記実施形態では、主制御装置 2 8 が、露光対象最小線幅 L に応じて、a. 基板テーブル 6 0 の X, Y 許容値、b. Z 許容値、c. アライメント計測画面数、d. E G A サンプルショット数の 4 つのスループット制御ファクタの全てを変更する場合について説明したが、これに限らず、a. ～ d. の任意の 1 つ、任意の 2 つ又は任意の 3 つのみを露光対象最小線幅に依拠して変更するようにしても良い。かかる場合であっても、スループットの向上を図ることはできる。勿論、露光精度についてはより高い精度を維持できる。

【 0 0 8 5 】

また、主制御装置 2 8 では、これまでに説明したものに代え、あるいは加えて、スループット制御ファクタとして、e. 基板テーブル 6 0 の位置決め精度に関連する物理量の許容値、f. 基板テーブル 6 0 の位置決め完了判断までの時間、g. 露光光 E L の照射に起因する投影光学系 P L に蓄えられる熱量の許容値 (いわゆる E 値リミット)、h. 基板テーブル 6 0 の露光中の振動量の許容値、i. ウエハに与えられる積算露光量の許容誤差、j. ウエハのアライメント計測精度

に関連する物理量、及び k 。アライメント計測の際のオートフォーカスのオン・オフ等のスループット制御ファクタを、露光対象最小線幅に応じて変更することとしても良い。

【0086】

ここで、 e 。基板テーブル60の位置決め精度に関連する物理量の許容値は、上記 a 。の他、ショット間ステッピング時の最大許容速度、最大許容加速度の少なくとも1つを含むこととすることができる。例えば、ラフモードのときには、ミドルモードのときよりもショット間ステッピングの際の最大許容速度（ステッピング速度）、最大許容加速度の少なくとも一方を大きくすることにより、ショット間ステッピング時間を短縮することができ、その分、ウエハWの露光処理に要する時間（露光処理時間）の短縮が可能である。但し、ステッピング速度を大きくすると、限られた距離（ショット間距離）をより高速で移動するので、加減速度の絶対値が大きくなるのが通常である。この場合、ステッピング速度の増加に併せて位置決めの整定を判断する目標値に対する位置誤差（ e_{rr} ）の許容値を変更することにより、位置決め整定時間を増加させることなく、露光の際のステッピング時間を短縮することも可能である。但し、必ずしもこのようにする必要はなく、ステッピング速度の向上による露光処理時間の短縮と位置決め整定時間の増加とを考慮して、全体的にスループットが向上する程度に基板テーブル60のステッピング時の速度及び加減速度（移動状態）を変更するのであれば、上記の位置決めの整定を判断する目標値に対する位置誤差（ e_{rr} ）の許容値として常に同じ値を用いても良い。

【0087】

また、上記 f 。基板テーブル60の位置決め完了判断までの時間とは、位置決め完了の判断を、上記位置誤差（ e_{rr} ）が所定の範囲内になる状態が、所定時間 t だけ連続したときに、位置決め完了と判断することがあるが、この場合の所定時間 t を意味する。ラフモードのときには、ミドルモードのときよりも所定時間 t を短くすることができる。

【0088】

また、上記 g 。のいわゆるE値リミットが、スループット制御ファクタに含ま

れる理由は、次の通りである。投影光学系 PL が照明光を吸収することにより蓄えられた熱量に起因して結像特性が変化するが、要求される露光精度に応じてこの結像特性の変化を許容できる範囲が異なる。この場合、許容できないレベルまで熱量が蓄積されると、投影光学系を冷却するため露光を停止する必要がある、E 値リミットを変更することは、スループットに影響を与える。すなわち、ラフモードのときは、ミドルモードのときよりも、結像特性の変化の許容範囲を大きくできるので、投影光学系に蓄積される熱量の許容値を大きくする。

【 0 0 8 9 】

また、h. 基板テーブル 6 0 の露光中の振動量の許容値が、スループット制御ファクタに含まれる理由は、次の通りである。露光対象最小線幅と露光時に許容できる X Y 面内のステージ振動には、一定の関係がある。一般的に、露光対象最小線幅が小さいほど、露光時のステージ振動は小さくないと露光に影響を与えるようになる。反対に、露光対象最小線幅がそれほど小さくない場合には、露光時の振動が多少存在しても露光に悪影響を与えることはない。後者の場合、基板テーブルの移動が終了し、振動が完全に収まらない状態で次の動作を開始することにより、全体的な処理時間を短縮できる。すなわち、ラフモードのときには、ミドルモードのときよりも基板テーブル 6 0 の振動量の許容値を大きくする。

【 0 0 9 0 】

また、i. ウエハに与えられる積算露光量の許容誤差は、特に光源がパルス光源である場合に、パルス毎のエネルギーばらつきがあるため、問題となるものであるが、次のような理由により、スループット制御ファクタに含まれる。すなわち、露光対象最小線幅に応じて、ウエハに与えられる積算露光量の許容誤差は異なり、この積算露光量の誤差は、露光の際に光源から出射されウエハ W に照射されるパルス数及び繰り返し周波数（発射周期）の少なくとも一方を変更することにより変更することができる。パルス光源を用いる場合、各パルス毎にエネルギーばらつきがあるので、ウエハに照射されるパルス数が多ければ多いほど積算露光量の制御精度が向上する。逆に、ウエハに照射されるパルス数を少なくすると積算露光量制御精度は低下するがスループットは向上する。従って、目標積算露光量が同じであれば、ラフモードのときにはウエハに照射されるパルス数をミドルモ

ードのときよりも少なくする。また、ウエハに照射すべきパルス数が同じであれば、繰り返し周波数を高くすることにより露光時間の短縮が可能となる。従って、ラフモードのときには、光源のパルス発射の繰り返し周波数をミドルモードのときより高くする。

【 0 0 9 1 】

また、j. ウエハのアライメント計測精度に関連する物理量には、E G A 計測におけるサンプルショットの選択、すなわち計測すべきアライメントマークの選択に関する量、アライメントマークの計測時間の少なくとも1つを含むこととすることができる。アライメントマークの選択に関する量としては、c. サンプルショット数の他、サンプルショットの選択範囲をウエハ中心を中心とする半径がどの程度の範囲内のショット領域とするかなども含まれる。また、アライメントマークの計測時間の変更は、d. の計測画面数の変更による方法に限定されない。サンプルショットの選択範囲が小さければ、E G A 計測によって決定される各ショットの位置の誤差が大きくなることもあるが、マーク計測のためのウエハの移動時間が小さくなり、E G A 計測に要する時間を短縮できるので、ラフモードのときには、ミドルモードのときよりもサンプルショットの選択範囲を小さくする。

【 0 0 9 2 】

また、k. アライメント計測の際のオートフォーカスのオン・オフは、以下の理由により、スループット制御ファクタに含まれる。通常 F I A 系等のアライメント顕微鏡 A L G には、瞳分割プリズム等を用いたフォーカス検出系が組み込まれていることが多い。その場合、フォーカス検出系をオンにしてアライメントマークの検出時にウエハのオートフォーカスを行うと、それだけアライメントマークの計測精度は向上するが、計測に要する全時間が増加するので、アライメント計測の際のオートフォーカスのオン・オフはスループットを左右する。要求される露光精度、すなわち露光対象最小線幅に応じて、オン・オフを切り替えれば良い。すなわち、ラフモードのときには「オフ」、ミドルモードのときには「オン」にする。

【 0 0 9 3 】

また、フォーカス位置検出系の目標面やベースライン（投影光学系 P L によるパターン投影位置とアライメント顕微鏡 A L G の検出中心値との位置関係）などの各種キャリブレーションの実行間隔を、ラフモードのときに、ミドルモードのときより長くすれば、スループットを向上させることができる。

【 0 0 9 4 】

なお、上記実施形態では、主制御装置 2 8 が、オペレータにより入力された露光対象最小線幅 L の値に基づいて、自らの判断で、前記スループット制御ファクタを変更する場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものではない。例えば、露光システムの制御を行うための各種パラメータが設定されるプロセスプログラムファイルに、露光の際に用いられる前記制御ファクタに関連するパラメータの値が個別に設定可能であることとしても良い。かかる場合には、オペレータが予めプロセスプログラムファイルに各種のパラメータの値を個別に設定することにより、制御システムが、そのプロセスプログラムファイルに従って露光システムの制御を行なうことにより、露光対象線幅に応じて、露光に際して上記制御ファクタの変更が行われることとなる。従って、判断プログラムを含む複雑な露光処理プログラム（ソフトウェア）を新たに作成することなく、従来のプロセスプログラムファイルの簡易な変更で足りる。

【 0 0 9 5 】

この他、ミドルモードとラフモードとをオペレータが手動にて選択できるように構成しても良い。あるいは、制御システムが露光に使用されるレチクル R の情報を搬送中にバーコードリーダ等で読み取り、その読み取った情報に基づいて露光対象最小線幅を自動判別することとしても良い。

【 0 0 9 6 】

また、例えば特開平 7 - 1 2 2 4 7 3 号公報などに開示されるように、レチクル（マスク）側にも E G A と同様の手法を用い、投影光学系を介してのレチクルの倍率、ローテーション等を求めるアライメント法が採用される場合があるが、露光対象のパターンの最小線幅に応じて、その E G A のサンプルマーク数を変更することにより、マスクと基板との相対位置合わせ精度を変更することとしても良い。

【0097】

なお、上記実施形態では、ミックス・アンド・マッチに用いられるスキャン露光装置における一つのショット領域（区画領域）が、 $25\text{ mm} \times 33\text{ mm}$ の長方形形状であるものとしたが、これに限らず、 $26\text{ mm} \times 33\text{ mm}$ のサイズの長方形形状であっても良い。この場合、上記実施形態と同様に、レチクルとしては、6インチサイズのレチクルを用い、投影光学系PLの投影倍率は $1/4$ 倍であることとすることができる。

【0098】

あるいは、スキャン露光装置における一つのショット領域（区画領域）は、 $22\text{ mm} \times 26\text{ mm}$ のサイズの長方形形状であることとすることができる。この場合、レチクルは、6インチサイズのレチクルを用い、投影光学系PLとして投影倍率が $1/5$ 倍のものをを用いることとすることができる。

【0099】

これらの場合も、上記実施形態と同様に、静止型露光装置の投影光学系として、そのイメージフィールド（ウエハ側）が、スキャン露光装置における一つのショット領域がほぼ内接するような直径の円形であるものを用いれば良い。すなわち、スキャン露光装置における一つの区画領域が（ $a\text{ mm} \times b\text{ mm}$ ）の矩形である場合、静止型露光装置の投影光学系としては、そのイメージフィールドが、直径 $D \equiv (a^2 + b^2)^{1/2}$ の円形のものをを用いれば良い。

【0100】

なお、上記実施形態では、水銀ランプ、KrFエキシマレーザ、ArFエキシマレーザなどによって光源を構成する場合について説明したが、これに限らず、本発明では、エネルギービームとして、DFB半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（又はエルビウムとイッテルビウムの両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。

【0101】

なお、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上

に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、及び撮像素子（ＣＣＤなど）の製造に用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。

【 0 1 0 2 】

なお、複数のレンズから構成される照明光学系、投影光学系 Ｐ Ｌ を露光装置のボディに組み込み、光学調整をするとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージ Ｒ Ｓ Ｔ や、Ｘステージ 5 8，Ｙステージ 5 6，基板テーブル 6 0 等から成るステージ装置を露光装置のボディに取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより上記実施形態の露光装置 1 0 等の本発明に係る露光装置を製造することができる。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【 0 1 0 3 】

《デバイス製造方法》

次に、上述した露光装置 1 0 をリソグラフィ工程で使したデバイスの製造方法の実施形態について説明する。

【 0 1 0 4 】

図 7 には、デバイス（ＩＣや Ｌ Ｓ Ｉ 等の半導体チップ、液晶パネル、ＣＣＤ、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造例のフローチャートが示されている。図 7 に示されるように、まず、ステップ 2 0 1（設計ステップ）において、デバイスの機能・性能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ 2 0 2（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ 2 0 3（ウエハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

【 0 1 0 5 】

次に、ステップ 2 0 4（ウエハ処理ステップ）において、ステップ 2 0 1 ～ ステップ 2 0 3 で用意したマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術等によってウエハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ 2 0 5（デバイス組立ステップ）において、ステップ 2 0 4 で処理されたウエハを用

いてデバイス組立を行う。このステップ 2 0 5 には、ダイシング工程、ボンディング工程、及びパッケージング工程（チップ封入）等の工程が必要に応じて含まれる。

【 0 1 0 6 】

最後に、ステップ 2 0 6（検査ステップ）において、ステップ 2 0 5 で作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

【 0 1 0 7 】

図 8 には、半導体デバイスの場合における、上記ステップ 2 0 4 の詳細なフロー例が示されている。図 8 において、ステップ 2 1 1（酸化ステップ）においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ 2 1 2（CVDステップ）においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ 2 1 3（電極形成ステップ）においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ 2 1 4（イオン打込みステップ）においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ 2 1 1～ステップ 2 1 4 それぞれは、ウエハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

【 0 1 0 8 】

ウエハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ 2 1 5（レジスト形成ステップ）において、ウエハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップ 2 1 6（露光ステップ）において、上で説明した露光装置 1 0 その他の露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに転写する。次に、ステップ 2 1 7（現像ステップ）においては露光されたウエハを現像し、ステップ 2 1 8（エッチングステップ）において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ 2 1 9（レジスト除去ステップ）において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

【 0 1 0 9 】

これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0 1 1 0】

以上説明した本実施形態のデバイス製造方法によると、露光工程（ステップ 2 1 6）において上記実施形態の露光装置 1 0 を用いて露光が行われるので、露光精度を十分に維持しつつ、スループットを向上して露光が行われる。特に、半導体素子などのデバイスを製造するリソグラフィ工程に、スキャン露光装置による露光工程が含まれている場合には、上記実施形態の露光装置 1 0 とのミックス・アンド・マッチを採用することによって、高精度化、高スループット化を実現できる。従って、微細パターンを有するマイクロデバイスの歩留まりを低下させることなく、そのスループットを向上して生産性を向上させることができる。

【0 1 1 1】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明に係る露光装置によれば、スキャニング・ステッパなどのスキャン露光装置とのミックス・アンド・マッチを行う際に、そのスキャン露光装置の能力を最大限に発揮させることができるとともに、露光精度を十分な精度に維持しつつ、スループットを向上させることができる。

【0 1 1 2】

また、本発明に係るデバイス製造方法によれば、微細パターンを有するマイクロデバイスの歩留まりを低下させることなく、そのスループットを向上して生産性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

一実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図 2】

図 1 の焦点位置検出系の詳細構成をステージ装置とともに示す図である。

【図 3】

一実施形態の露光装置を用いて、スキャン露光装置とのミックス・アンド・マッチを行う場合の例を説明するための図である。

【図 4】

露光装置における一連の処理動作に関する主制御装置の制御アルゴリズムを示

すフローチャートである。

【図 5】

露光対象最小線幅 L が、 $0.3 \mu\text{m}$ 以上 $0.7 \mu\text{m}$ 未満であるモードと、 $0.7 \mu\text{m}$ 以上であるモードの 2 つのモードに対してスループット制御パラメータが設定されたデータテーブルの一例を示す図である。

【図 6】

図 5 の X 、 Y 許容値をモード毎に設定する理由について説明するための図であって、 X ステージ、 Y ステージ（基板テーブル）の減速終了後の目標値に対する位置誤差の時間変化を示す図である。

【図 7】

本発明に係るデバイス製造方法の実施形態を説明するためのフローチャートである。

【図 8】

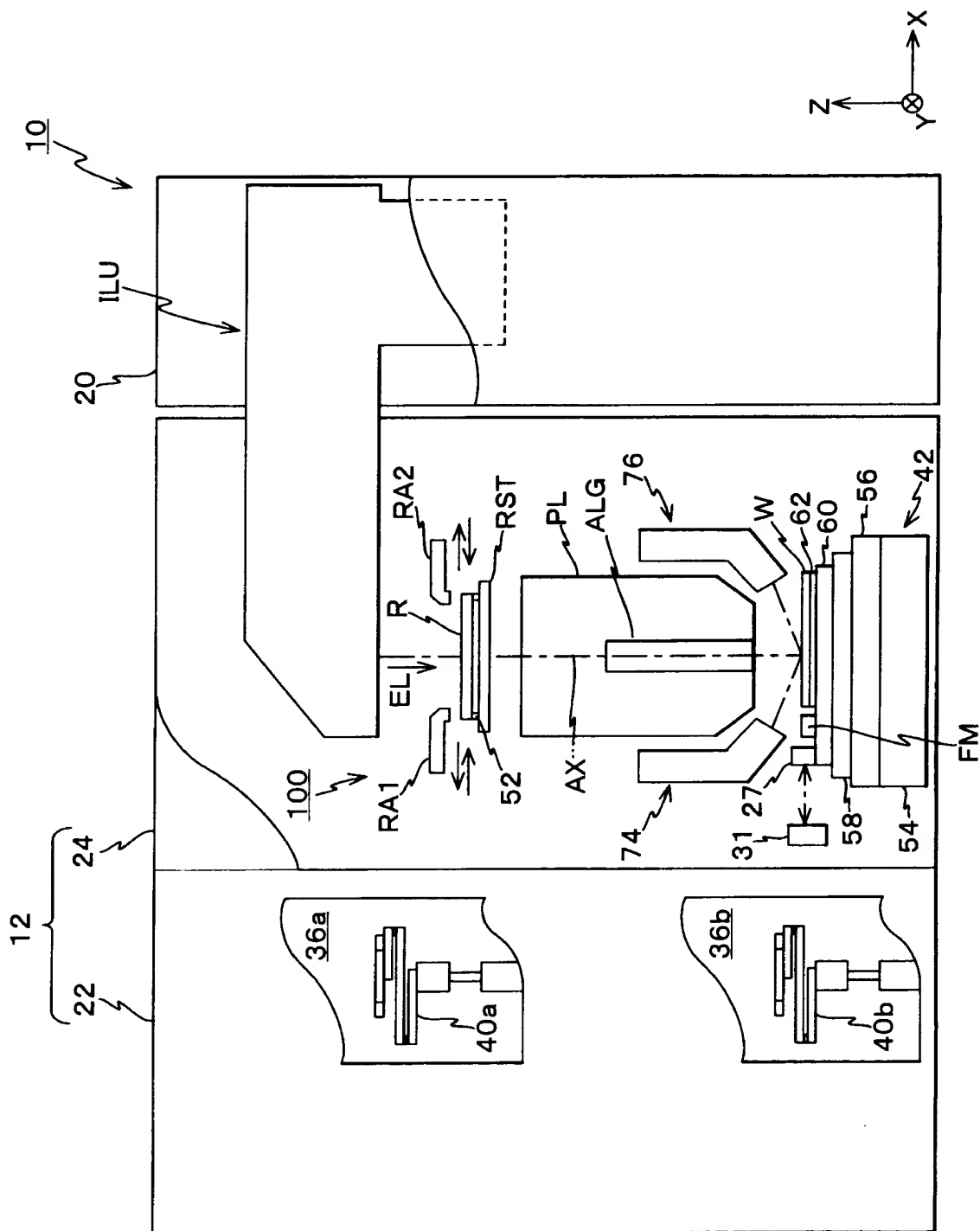
図 7 のステップ 2 0 4 における処理を示すフローチャートである。

【符号の説明】

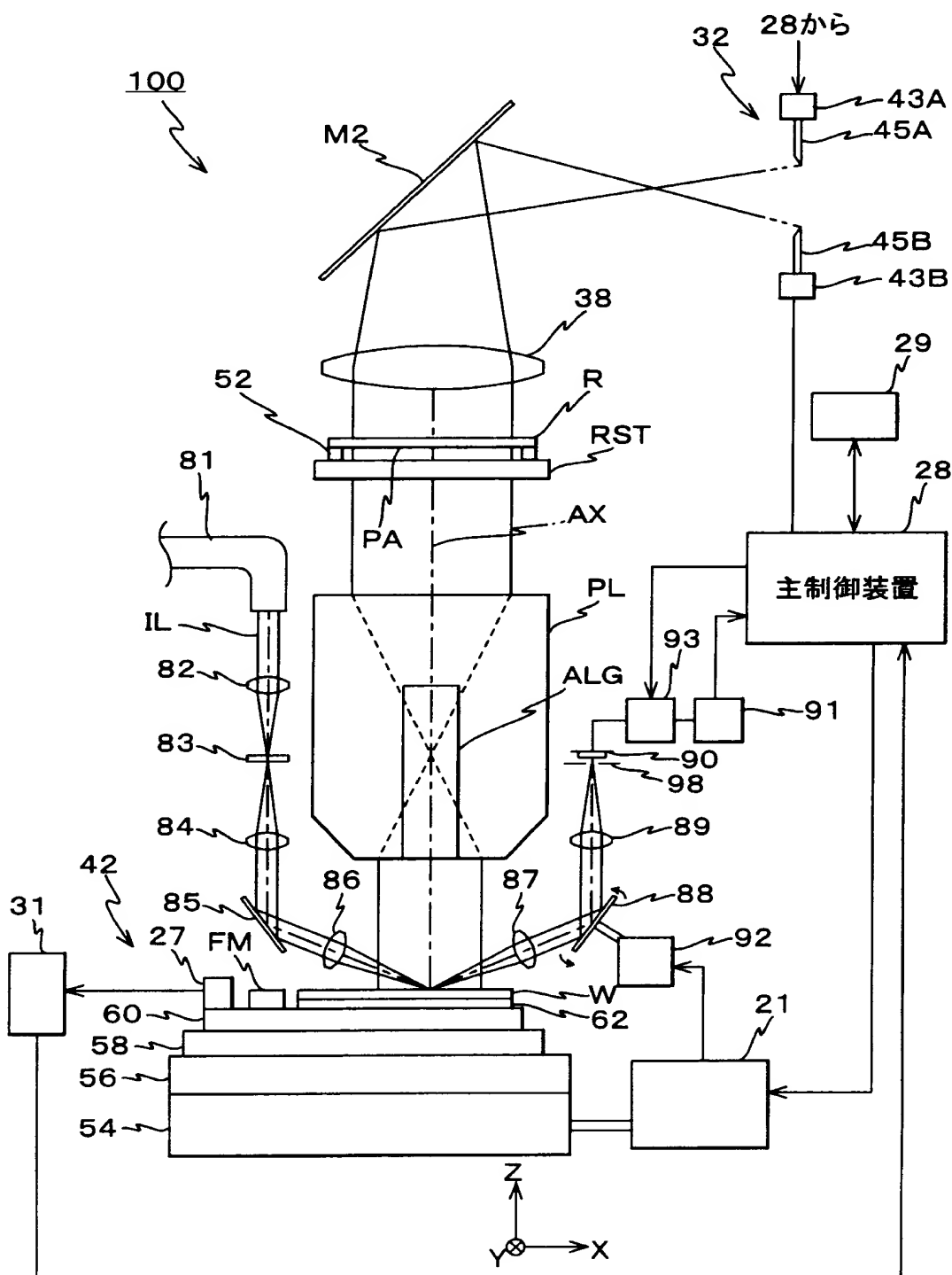
1 0 … 露光装置、2 8 … 主制御装置（制御システム）、6 0 … 基板テーブル（基板ステージ）、1 0 0 … 露光システム、 R … レチクル（マスク）、 W … ウエハ（基板）、 $E L$ … 露光光（エネルギービーム）、 $P L$ … 投影光学系。

【書類名】 図面

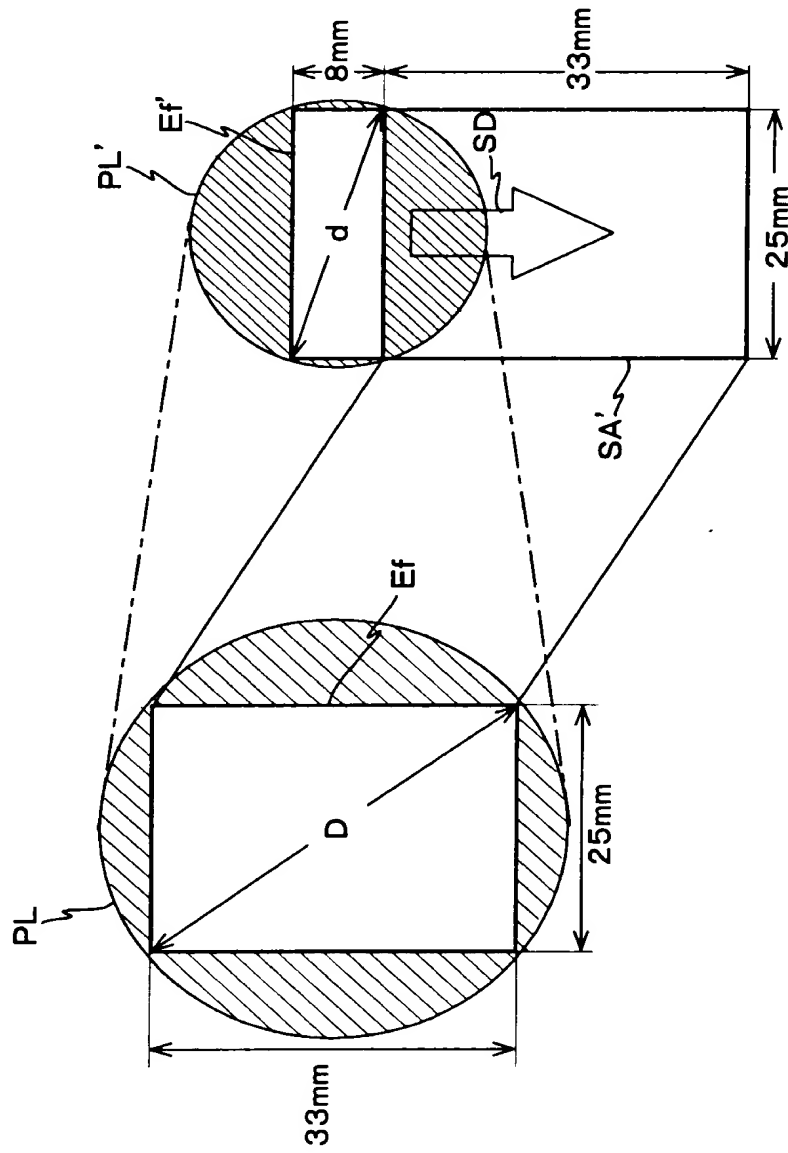
【図 1】



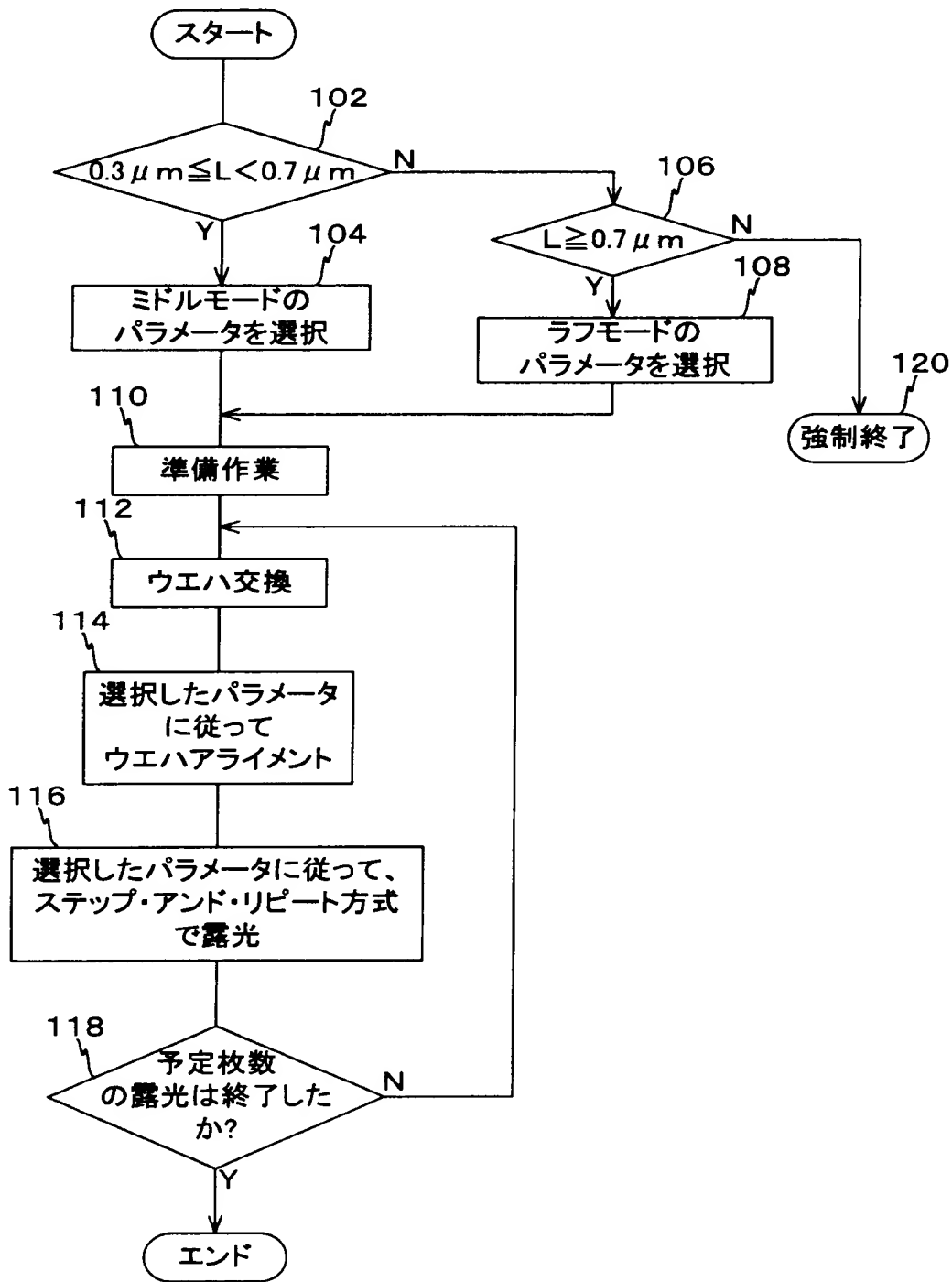
【図 2】



【図 3】



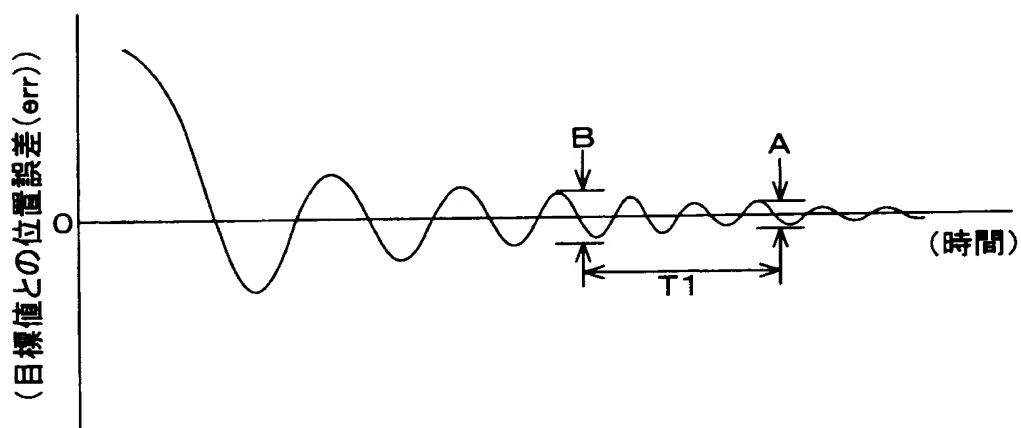
【図 4】



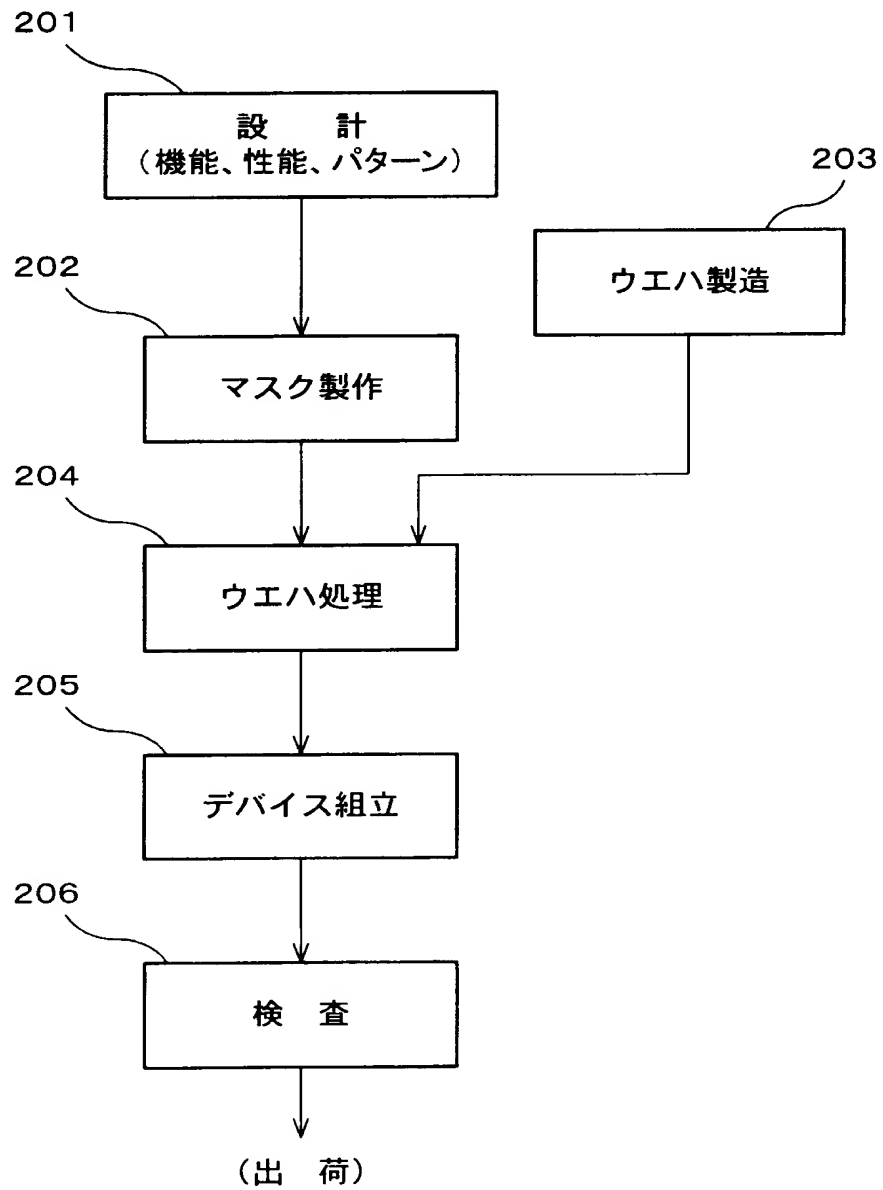
【図 5】

露光対象最小線幅 L	$0.3\mu\text{m} \leq L < 0.7\mu\text{m}$	$0.7\mu\text{m} \leq L$
X, Y 許容値	$\pm 0.1\mu\text{m}$	$\pm 1\mu\text{m}$
Z 許容値	$\pm 0.1\mu\text{m}$	$\pm 1\mu\text{m}$
アライメント計測画面数	5	1
サンプルショット数	12	3

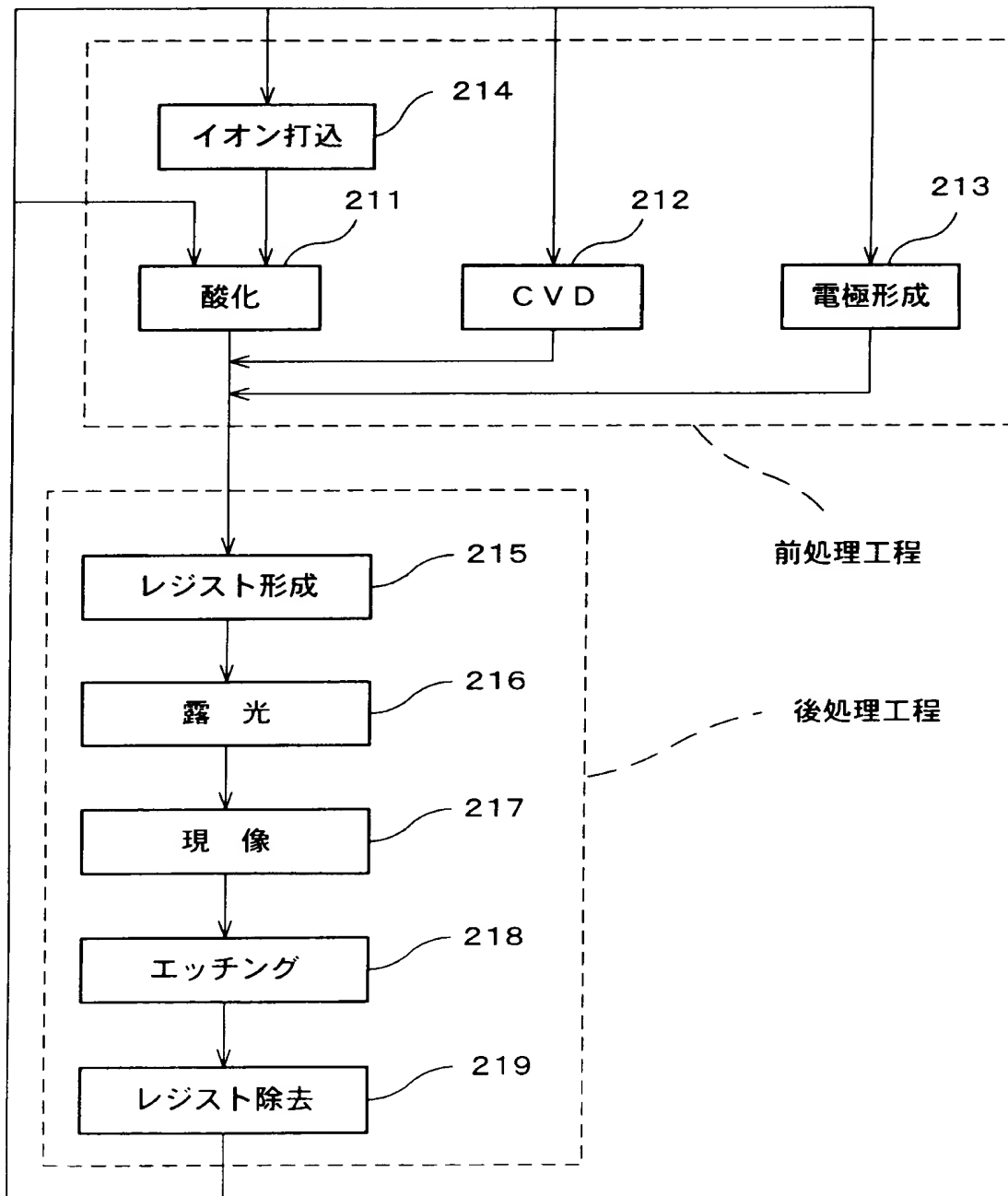
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 スキャン露光装置とのミックス・アンド・マッチを行う際に、その装置の能力を最大限発揮させ、かつ露光精度を維持しつつ、スループットを向上させ得る静止型の露光装置を提供する。

【解決手段】 スキャン露光装置における 1 ショットを、一括して露光可能なイメージフィールドを有する投影光学系 P L を備えている。このため、スキャン露光装置の最大露光可能範囲をショット領域とした 1 i n 1 露光が可能になる。また、主制御装置 2 8 が、パターンの最小線幅に応じてスループットに寄与する露光システム 1 0 0 の制御ファクタを変更する。露光精度の低下を許容できる場合にのみスループットをより重視した状態（又は値）となるように前記制御ファクタを変更する。常に同一の値に基づいて露光システムを制御する場合に比べ、露光精度を維持しつつ、スループットを向上させることができる。

【選択図】 図 2

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2000-235319
受付番号	50000986340
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成12年 8月 4日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成12年 8月 3日
-------	-------------

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004112]

1. 変更年月日 1990年 8月29日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
氏 名 株式会社ニコン